

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ПРИКАРПАТСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ВАСИЛЯ СТЕФАНІКА**

Фізико-технічний факультет

Кафедра комп'ютерної інженерії та електроніки

**СИЛАБУС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

**Технології виготовлення мікроелектронних пристроїв**

Освітня програма Комп'ютерна інженерія

Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія

Галузь знань 12 Інформаційні технології

Затверджено на засіданні кафедри  
Протокол № 12 від “30” червня 2023 р.

м. Івано-Франківськ - 2023

## **ЗМІСТ**

1. Загальна інформація
2. Анотація до курсу
3. Мета та цілі курсу
4. Компетентності
5. Результати навчання
6. Організація навчання курсу
7. Система оцінювання курсу
8. Політика курсу
9. Рекомендована література

<b>1. Загальна інформація</b>	
<b>Назва дисципліни</b>	Технології виготовлення мікроелектронних пристроїв
<b>Рівень вищої освіти</b>	Перший рівень вищої освіти
<b>Викладач (-і)</b>	професор, доктор фізико-математичних наук Мандзюк Володимир Ігорович
<b>Контактний телефон викладача</b>	0342596007
<b>E-mail викладача</b>	<a href="mailto:volodymyr.mandzyuk@pnu.edu.ua">volodymyr.mandzyuk@pnu.edu.ua</a>
<b>Формат дисципліни</b>	Семестровий
<b>Обсяг дисципліни</b>	9 кредитів
<b>Посилання на сайт дистанційного навчання</b>	<a href="http://www.d-learn.pu.if.ua/">http://www.d-learn.pu.if.ua/</a>
<b>Консультації</b>	відповідно до графіку індивідуальних консультацій
<b>2. Анотація до курсу</b>	
<p>Дисципліна “Технології виготовлення мікроелектронних пристроїв” належить до переліку вибірових навчальних дисциплін за освітнім рівнем “бакалавр”, що пропонуються в рамках циклу загальної підготовки студентів за освітньою програмою 123 “Комп’ютерна інженерія” на третьому році навчання. Вона забезпечує формування у студентів науково-дослідницьких професійно-орієнтованих компетенцій. Предметом вивчення навчальної дисципліни є фізико-технологічні процеси та технологічні маршрути формування мікроелектронних пристроїв.</p> <p>Силабус навчальної дисципліни “Технології виготовлення мікроелектронних пристроїв” складений відповідно до освітньо-професійної програми підготовки бакалавра спеціальності 123 “Комп’ютерна інженерія”.</p>	
<b>3. Мета та цілі курсу</b>	
<p><b>Метою</b> вивчення навчальної дисципліни “Технології виготовлення мікроелектронних пристроїв” є розгляд технологічних процесів, що використовуються для виготовлення пристроїв мікро- і наноелектроніки, вивчення основних технологічних маршрутів формування мікроелектронних пристроїв.</p> <p>Основним <b>завданням</b> навчальної дисципліни є ознайомлення студентів з основними технологічними операціями, які використовуються при виготовленні пристроїв інтегральної мікро- та наноелектроніки.</p> <p>У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен</p> <p><b>знати:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– основні технологічні процеси, які використовуються в технології виготовлення мікроелектронних пристроїв, та фізико-хімічні явища, які лежать в основі даних процесів;</li> <li>– послідовність проведення технологічних процесів при формуванні мікроелектронних пристроїв;</li> <li>– способи формування інтегральних діодів, конденсаторів і резисторів, їх основні параметри та способи ізоляції елементів інтегральних схем;</li> <li>– основи технології та послідовність етапів виробництва напівпровідникових приладів на основі біполярних, МОН-, КМОН-транзисторів та інших типів інтегральних мікросхем.</li> </ul> <p><b>вміти:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– оптимізувати процеси нанесення матеріалу в магнетронній системі розпилення для одержання тонких плівок бажаної товщини та нерівномірності;</li> <li>– розраховувати характеристики розподілу концентрації заданої домішки в кремнії при одностадійній та двохстадійній дифузії для отримання <i>p-n</i>-переходу на заданій глибині і потрібній її поверхневій концентрації;</li> <li>– формувати біполярний транзистор з необхідною шириною бази та емітера, використовуючи роздільну дифузію домішок;</li> </ul>	

- розрахувати характеристики уповільнення іонів при імплантації та параметри розподілу домішки в кремнії;
- складати технологічний маршрут формування інтегральних елементів в залежності від його функціонального призначення;
- самостійно вибирати необхідні електронні прилади при проектуванні елементів, пристроїв автоматики та обчислювальної техніки, використовувати та забезпечити їх грамотне застосування, експлуатацію в сучасній апаратурі.

#### 4. Компетентності

##### Загальні компетентності

ЗК1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу і синтезу.

ЗК7. Вміння виявляти, ставити та вирішувати проблеми.

##### Спеціальні (фахові) компетентності

Р2. Здатність використовувати сучасні методи і мови програмування для розроблення алгоритмічного та програмного забезпечення.

##### Спеціальні компетентності освітніх компонент вільного вибору

ВК14. Здатність розробляти електричні схеми комп'ютерних пристроїв, моделювати їх роботу та проводити розрахунки електричних характеристик.

#### 5. Результати навчання

Н8. Вміти системно мислити та застосовувати творчі здібності до формування нових ідей.

Н10. Вміти розробляти програмне забезпечення для вбудованих і розподілених застосувань, мобільних і гібридних систем, розраховувати, експлуатувати, типове для спеціальності обладнання.

#### 6. Організація навчання курсу

##### Обсяг курсу

Вид заняття	Загальна кількість годин
лекції	32
семінарські заняття / практичні / лабораторні	58
самостійна робота	180

##### Ознаки курсу

Семестр	Спеціальність	Курс (рік навчання)	Нормативний/ вибірковий
II	123 Комп'ютерна інженерія	III	Вибірковий

##### Тематика курсу

Тема, план	Форма заняття	Літера- тура	Завдання, год	Вага оцінки	Термін виконання
------------	------------------	-----------------	------------------	----------------	---------------------

#### Змістовий модуль 1. Основні технологічні процеси виготовлення пристроїв мікро- і наноелектроніки.

Тема 1. Вступ. Мета і задачі дисципліни. Електроніка вчора і сьогодні. Проблеми переходу від мікро- і наноелектроніки.	лекція	[1-17]	1	1	Згідно розкладу
Тема 2. Механічна обробка поверхні напівпровідникових пластин для пристроїв інтегральної електроніки. Типи і основні характеристики підкладок. Структура підкладок та їх маркування. Різання злитків і пластин. Шліфування і полірування пластин. Скрайбування і розламування пластин.	лекція	[1-17]	2	2	Згідно розкладу

Тема 3. Технологія хімічної обробки поверхні напівпровідникових пластин для пристроїв інтегральної електроніки. Механізм хімічної обробки кремнієвих пластин. Технохімічна обробка пластин. Термохімічне (газове) та іонно-плазмове травлення кремнієвих пластин.	лекція	[1-17]	2	2	Згідно розкладу
Тема 4. Формування діелектричних плівок на напівпровідникових пластинах. Конструктивно-технологічні функції діелектричних плівок. Технологія формування плівок SiO <sub>2</sub> термічним окисненням кремнію. Технологія осадження діелектричних плівок на поверхні пластин. Параметри якості діелектричних плівок.	лекція	[1-17]	2	2	Згідно розкладу
Тема 5. Основи літографічних процесів. Загальні поняття про фотолітографію. Фоторезисти та їх основні характеристики. Основні операції фотолітографічного процесу. Еліонні методи літографії.	лекція	[1-17]	2	2	Згідно розкладу
Тема 6. Дифузія в напівпровідниках та методи її проведення. Фізичні процеси, що відбуваються в процесі дифузії домішки в напівпровідниках. Методи проведення дифузії.	лекція	[1-17]	2	2	Згідно розкладу
Тема 7. Іонна імплантація в технології мікроелектроніки. Фізичні основи та способи проведення імплантаційних процесів в інтегральній мікро- і наноелектроніці.	лекція	[1-17]	2	2	Згідно розкладу
Тема 8. Технологія епітаксійних шарів та методи її проведення. Фізичні основи процесу епітаксії. Методи проведення епітаксії. Легування в процесі епітаксії.	лекція	[1-17]	2	2	Згідно розкладу
Тема 9. Методи одержання тонких плівок. Термовакуумні методи одержання тонких плівок. Імпульсне нанесення плівок. Одержання плівок з іонізованих потоків багатоатомних частинок методами іонного осадження.		[1-17]	2	2	
Модульний контроль			2		Згідно розкладу
<b>Змістовий модуль 2. Елементна база мікро- і наноелектроніки.</b>					
Тема 10. Елементна база інтегральних схем. Інтегральні діоди.	лекція	[1-17]	2	2	Згідно розкладу

Інтегральні резистори. Інтегральні конденсатори. Ізоляція елементів інтегральних схем.					
Тема 11. Основні поняття та визначення планарної технології виготовлення інтегральних схем. Планарна технологія виготовлення інтегральних схем. Гібридна та суміщена технологія виготовлення інтегральних схем. Підвищення ступеня інтеграції інтегральних схем. Характеристика основних процесів планарної технології виробництва пристроїв інтегральної електроніки.	лекція	[1-17]	3	2	Згідно розкладу
Тема 12. Основні типи структур інтегральних мікросхем. Дифузійно-планарна структура біполярного транзистора. Епітаксійно-планарна структура біполярного транзистора. Епітаксійно-планарна структура біполярного транзистора з прихованим шаром. Структура біполярного транзистора з діелектричною ізоляцією. Ізопланарна структура біполярного транзистора. Поліпланарна структура біполярного транзистора. Комплементарний МДН-транзистор. КМДН-КНС транзисторні структури.	лекція	[1-17]	3	2	Згідно розкладу
Тема 13. Технологія виготовлення біполярних інтегральних мікросхем. Особливості структури біполярних ІМС. Еволюція структури біполярної ІМС.	лекція	[1-17]	3	2	Згідно розкладу
Тема 14. Технологія виготовлення КМОН інтегральних мікросхем. Загальна характеристика МОН- і КМОН-транзисторів. Послідовність формування КМОН-ІМС структури.	лекція	[1-17]	2	2	Згідно розкладу
Тема 15. Технологія отримання інших напівпровідникових інтегральних пристроїв. Технологічний маршрут виготовлення потужних діодів Шоттки. Технологічний маршрут виготовлення MOSFET-транзисторів. Технологічний маршрут виготовлення потужних тиристорів.	лекція	[1-17]	2	2	Згідно розкладу
Модульний контроль			2		Згідно розкладу

<b>Лабораторні заняття</b>					
Лабораторна робота №1. Вивчення технології нанесення тонких плівок методом магнетронного розпилення.	Лабораторна робота	[1-17]	5	1	Згідно розкладу
Лабораторна робота №2. Дослідження та моделювання процесів дифузії у технології мікроелектроніки.	Лабораторна робота	[1-17]	5	1	Згідно розкладу
Лабораторна робота №3. Формування вертикального біполярного транзистора з використанням роздільної дифузії.	Лабораторна робота	[1-17]	5	1	Згідно розкладу
Лабораторна робота №4. Використання процесів іонної імплантації в технологіях мікроелектроніки.	Лабораторна робота	[1-17]	5	1	Згідно розкладу
Лабораторна робота №5. Двовимірний розподіл іонів під краєм маски при іонній імплантації.	Лабораторна робота	[1-17]	5	1	Згідно розкладу
Лабораторна робота №6. Числове моделювання процесу термічного окислення кремнію.	Лабораторна робота	[1-17]	5	1	Згідно розкладу
Лабораторна робота №7. Числове моделювання процесу рідинного травлення на півпровідникових структурах.	Лабораторна робота	[1-17]	5	1	Згідно розкладу
Лабораторна робота №8. Числове моделювання різкого ступінчастого <i>p-n</i> -переходу у стані термодинамічної рівноваги.	Лабораторна робота	[1-17]	5	1	Згідно розкладу
Лабораторна робота №9. Гібридні інтегральні мікросхеми.	Лабораторна робота	[1-17]	6	1	Згідно розкладу
Лабораторна робота №10. Розрахунок плівкових резисторів.	Лабораторна робота	[1-17]	6	1	Згідно розкладу
Лабораторна робота №11. Розрахунок плівкових конденсаторів.	Лабораторна робота	[1-17]	6	1	Згідно розкладу
<b>Самостійна робота студентів</b>					
Тема 1. Основні методи вирощування монокристалів.	Самостійна робота	[1-17]	12	0,8	Впродовж семестру
Тема 2. Напівпровідникові підкладки, особливості підготовки їх поверхні, різновиди забруднень.	Самостійна робота	[1-17]	12	0,7	Впродовж семестру
Тема 3. Виробнича гігієна приміщень підприємств мікро- та наноелектроніки.	Самостійна робота	[1-17]	8	0,6	Впродовж семестру
Тема 4. Обробка поверхні напівпровідних пластин в рідких і газових середовищах.	Самостійна робота	[1-17]	12	0,7	Впродовж семестру

Тема 5. Діелектричні шари та методи їх нанесення.	Само- стійна робота	[1-17]	10	0,6	Впродовж семестру
Тема 6. Застосування еліонних методів літографії в технології виробництва пристроїв мікро- і наноелектроніки.	Само- стійна робота	[1-17]	10	0,7	Впродовж семестру
Тема 7. Отримання електронно-діркових переходів методом дифузії.	Само- стійна робота	[1-17]	12	0,7	Впродовж семестру
Тема 8. Фізико-хімічні процеси в технології нанесення тонких плівок.	Само- стійна робота	[1-17]	12	0,7	Впродовж семестру
Контроль самостійної роботи			2		Згідно розкладу
Тема 9. Конструктивно-технологічні характеристики і методи формування корпусів для корпусованих виробів мікро- і наноелектроніки.	Само- стійна робота	[1-17]	12	0,7	Впродовж семестру
Тема 10. Технологія гібридних товстопліткових інтегральних мікросхем.	Само- стійна робота	[1-17]	12	0,6	Впродовж семестру
Тема 11. Технологія гібридних тонкопліткових інтегральних мікросхем.	Само- стійна робота	[1-17]	12	0,6	Впродовж семестру
Тема 12. Збиральні процеси у виробництві пристроїв інтегральної електроніки.	Само- стійна робота	[1-17]	14	0,6	Впродовж семестру
Тема 13. Мікромонтаж пристроїв інтегральної електроніки.	Само- стійна робота	[1-17]	14	0,7	Впродовж семестру
Тема 14. Герметизація пристроїв інтегральної електроніки і контроль герметичності.	Само- стійна робота	[1-17]	14	0,7	Впродовж семестру
Тема 15. Забезпечення якості і надійності пристроїв інтегральної електроніки.	Само- стійна робота	[1-17]	14	0,6	Впродовж семестру
Контроль самостійної роботи			2		Згідно розкладу
Підсумковий контроль (екзамен)				50	
<b>7. Система оцінювання курсу</b>					
Загальна система оцінювання курсу	<p><i>Поточний контроль</i> здійснюється під час проведення лекційних, лабораторних та індивідуальних занять і має на меті перевірку знань студентів з окремих тем навчальної дисципліни та рівня їх підготовленості до виконання конкретної роботи. Оцінки у національній шкалі («зараховано», «незараховано»), отримані студентами, виставляються у журналах обліку відвідування та успішності академічної групи.</p> <p><i>Модульний контроль</i> (сума балів за окремі змістовий модуль) проводиться (виставляється) на</p>				



		<p>підставі оцінювання результатів знань студентів після вивчення матеріалу з логічно завершеної частини дисципліни – змістового модуля.</p> <p>Завданням модульного контролю є перевірка розуміння та засвоєння певного матеріалу (теми), вироблення навичок проведення розрахункових робіт, вміння вирішувати конкретні ситуативні задачі, самостійно опрацьовувати тексти, здатності осмислювати зміст даної частини дисципліни, уміння публічно чи письмово подати певний матеріал.</p> <p><i>Семестровий (підсумковий) контроль</i> проводиться у формі <i>екзамену</i>.</p> <p><i>Екзамен</i> – форми підсумкового контролю, які передбачають перевірку розуміння студентом теоретичного та практичного програмного матеріалу з усієї дисципліни, здатності творчо використовувати здобуті знання та вміння, формувати власне ставлення до певної проблеми тощо.</p> <p>Екзамен здійснюється в письмовій формі за підсумковим тестовим завданням, що дає можливість здійснити оцінювання знань студента з усієї дисципліни або у тестовій формі з використанням комп'ютерного автоекзаменатора.</p>	
<b>Шкала оцінювання: національна та ECTS</b>			
Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою	
		для екзамену, курсового проекту (роботи)	для заліку
90-100	A	відмінно	зараховано
80-89	B	добре	
70-79	C		
60-69	D	задовільно	
50-59	E		
26-49	FX	незадовільно з можливістю повторного складання	не зараховано з можливістю повторного складання
0-25	F	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни	не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни
Вимоги до письмової роботи		Підсумкова робота виконується у формі тестових завдань з вибором правильної відповіді. Кількість тестових завдань – 50.	
Лабораторні заняття		<p>Після узагальнення (вступного слова) викладач дає відповіді на окремі теоретичні запитання, які виникли в студентів у процесі підготовки до заняття. Зазвичай з кожної теми лекційного курсу на лабораторні заняття виносять індивідуалізовані теми комплексного характеру, які дають змогу студенту ширше застосувати здобуті знання та підготуватися до самостійного виконання домашнього завдання.</p> <p>Для перевірки рівня засвоєння навчального матеріалу студенти виконують тестові завдання.</p> <p>До початку лабораторної роботи студент має</p>	

	отримати допуск на основі усної співбесіди. На лабораторній роботі кожен студент отримує інструкцію до виконання. Після завершення роботи студент оформляє і захищає звіт з результатами роботи.
Умови допуску до підсумкового контролю	<p>Студент допускається до підсумкового контролю (екзамену) за наявності виконаних лабораторних завдань, результатів тестування за тематикою лекційних завдань та самостійної роботи.</p> <p>Студент не допускається до підсумкового контролю, якщо впродовж семестру він набрав менше 50 балів із перерахованих вище категорій занять. У цьому випадку студенту у відомості робиться запис "не допущений" і виставляється набрана кількість балів. Допускається, як виняток, з дозволу декана факультету за заявою, погодженою з відповідною кафедрою, одноразове виконання студентом додаткових видів робіт з навчальної дисципліни (відпрацювання пропущених занять, перескладання змістових модулів, виконання індивідуальних завдань тощо) для підвищення оцінок за змістові модулі.</p>
<b>8. Політика курсу</b>	
<p>Студент зобов'язаний відвідувати заняття відповідно до встановленого розкладу, не запізнюватися, мати відповідний зовнішній вигляд. У разі відсутності через хворобу надається відповідна довідка.</p> <p>Пропущена лекція відпрацьовується студентом самостійно, як короткий конспект за темою заняття.</p> <p>Пропущене семінарське заняття виконується студентом самостійно вдома, результати оцінюються викладачем.</p> <p>У випадку, коли студент приймав участь у програмі мобільності, можливе врахування отриманих оцінок в іншому навчальному закладі за умови відповідності навчальних планів.</p> <p>Можливе зарахування результатів неформальної освіти згідно з Положенням про порядок зарахування результатів неформальної освіти у ДВНЗ "Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника".</p> <p><b>Політика академічної поведінки та етики</b></p> <p>Студент повинен бути толерантним і поважати думку інших.</p> <p>Заперечення повинні формулюватися тільки в коректній формі.</p> <p>Плагіат та академічна недоброчесність несумісні з принципами діяльності ЗВО.</p> <p>Не допускається підказування та списування під час здачі будь-яких робіт поточного, рубіжного чи підсумкового контролю.</p> <p>Не допускається користування телефонами та будь-якими іншими електронними засобами під час здачі будь-яких робіт поточного, рубіжного, чи підсумкового контролю.</p>	
<b>9. Рекомендована література</b>	
<b>Базова</b>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. М.М Погребняк, В.П Прищепа. Мікроелектроніка: ч. 1. – К.: Вища школа, 2004. – 431 с.</li> <li>2. Закалик Л.У., Ткачук Р.А. Основи мікроелектроніки. – Тернопіль, ТДТУ ім. І. Пулюя, 1998.</li> <li>3. С.П. Новосядлий. Суб - і наномікронна технологія структур великих інтегральних схем: монографія. – Івано-Франківськ: Місто-НВ, 2010. – 456 с.</li> <li>4. Л. Ткачук, Р. Закалик. Основи мікроелектроніки. – Тернопіль: Медап, 1998. – 350 с.</li> <li>5. D. Widmann, H. Mader, H. Friedrich, W. Heywang, R. Müller. Technology of Integrated</li> </ol>	

Circuits. –Berlin, Heidelberg, 2000.

6. С.П. Новосядлий. Фізико-технологічні основи субмікронної технології великих інтегральних схем. – Івано-Франківськ: Сімик, 2003. – 352 с.

7. Кузьмичев А.І., Писаренко Л.Д., Цибульський Л.Ю. Технологія виробництва мікросхем: навч. посібник – Київ : КПП ім. Ігоря Сікорського, 2019.

8. В.І. Мандзюк, І.Т. Когут. Фізико-технологічні основи мікросистемної техніки. – Івано-Франківськ: Нова зоря, 2008. – 154 с.

9. М.Г. Находкін, Д. І. Шека. Фізичні основи мікро- та наноелектроніки: підручник. Рек. МОН. – К.: Київський ун-т, 2005. – 431 с.

10. А.О. Дружинін. Твердотільна електроніка. Фізичні основи і властивості напівпровідникових приладів: навчальний посібник. – Львів: Вид-во Національного університету "Львівська політехніка", 2009. – 332 с.

11. П.Г. Стахів. Основи мікроелектроніки: функціональні елементи їх застосування: підручник. – Львів: 2003 – 208 с.

#### **Додаткова**

12. Електроніка і мікросхемотехніка: підручник /Ю.П. Колонтаєвський, А.Г. Сосков; за ред. А.Г.Соскова. – 2-е вид. Рек МОН. – К.: Каравела, 2009. – 416 с.

13. С.М. Павлов. Основи мікроелектроніки: навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 224 с.

14. Ю.М. Поплавко, О.В. Борисов, В.І. Ільченко, Ю.І. Якименко. Мікроелектроніка і наноелектроніка. Вступ до спеціальності: навч. посіб. – К.: НТУУ «КПІ», 2010.

15. Готра З.Ю. Фізичні основи електронної техніки / З.Ю. Готра, І.Є. Лопатинський, Б.А. Лукіянець, З.М. Микитюк, І.В. Петрович. – Львів : Бескид Біт, 2004.

16. І.П. Бурик. Технологічні основи виготовлення елементів напівпровідникових інтегральних мікросхем: конспект лекцій. – Суми: Сумський державний університет, 2015.

17. Конспект лекцій з дисципліни «Основи мікроелектроніки» для студентів спеціальності 7(8).05080201 - Електронні прилади та пристрої / Укладач: Л.В.Одноворець. – Суми: СумДУ, 2016.

Викладач \_\_\_\_\_

